

Estudios Geográficos  
Vol. LXXVIII, 283, pp. 553-577  
Julio-diciembre 2017  
ISSN: 0014-1496  
eISSN: 1988-8546  
doi: 10.3989/estgeogr.201719

## Variaciones espaciales y temporales de las condiciones bioclimáticas en la España peninsular (1951-2010)

### *Spatial and temporal variations of bioclimatic conditions in peninsular Spain (1951-2010)*

M. L. López<sup>1</sup>, D. Peña-Angulo<sup>2</sup>, R. Marco<sup>3</sup>,  
M. S. López<sup>4</sup>, J. C. González-Hidalgo<sup>5</sup>

#### RESUMEN

Hemos analizado los cambios de las condiciones bioclimáticas de la España peninsular en las décadas más recientes mediante la clasificación Worldwide Bioclimatic Classification System. La comparación entre las treintenas 1951-1980 y 1981-2010 ha permitido identificar cambios en los niveles más bajos de la clasificación (Continentalidad, y régimen térmico y ombrotérmico), no observándose grandes variaciones espaciales en la distribución de los niveles elevados (Macrobioclimas, Bioclimas/Variantes), pero sí en el nivel de Piso Bioclimático (Termotipos y Ombrotipos). Los resultados sugieren que los cambios ocurridos en las condiciones bioclimáticas han afectado con preferencia a la mitad norte peninsular, y no han sido tan intensos ni extensos como cabría pensar de anteriores estudios.

---

<sup>1</sup> Departamento de Biología Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra. <http://orcid.org/0000-0002-7409-4922>

<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza. Instituto de Ciencias Ambientales. (IUCA), Universidad de Zaragoza. ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-6249-442X>

<sup>3</sup> Departamento de Biología Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra. ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-8774-885X>

<sup>4</sup> Instituto de Estudios Manchegos, Ciudad Real. ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2263-7606>

<sup>5</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza. Instituto de Ciencias Ambientales. (IUCA), Universidad de Zaragoza. [jcgh@unizar.es](mailto:jcgh@unizar.es) ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-8518-9177>

**PALABRAS CLAVE:** bioclimatología; España; variación espacial; variación temporal.

#### ABSTRACT

This paper analyzes the spatial distribution of bioclimatic changes between the two climate normal periods (1951-1980 and 1981-2010) in the Spanish mainland. The analyses are performed using high density monthly datasets of precipitation, MOPREDAS, and mean temperatures, MOTEDAS. Both datasets cover the period of 1951-2010 and have been analyzed in their grid version (10x10 km). The characterization of the total amount of pixels (5234) followed the «Global Bioclimatics» from Rivas-Martínez to identify its Continentality, Macrobioclimate, Bioclimate, Bioclimatic Variant, Thermotype and Ombrotype. The results were quantified in spatial percentages of occupancy for each of the Bioclimatic Units and for each normal period. During the second period, Continentality, annual and summer Xericity, extension of all Mediterranean Bioclimates, Thermicity and dry Ombrotypes increased. Spatial comparison between the two periods suggests consistent gradual changes between Bioclimatic Units and spatial coherence. Results suggest that changes have occurred mostly in northern Spanish mainland and that they have not been as intense or extensive as one might think from previous studies.

**KEY WORDS:** bioclimatology; Spain; spatial variation; temporal variation.

**CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO/CITATION:** López, M.L., Peña-Angulo, D., Marco, R., López, M.S. y González-Hidalgo, J.C. (2017): "Variaciones espaciales y temporales de las condiciones bioclimáticas en la España peninsular (1951-2010)", *Estudios Geográficos*, LXXVIII/283, pp. 553-577

#### 1. INTRODUCCION

La evaluación de los efectos del cambio climático en los ecosistemas se suele realizar mediante indicadores fenológicos, abióticos, estructurales, ecológicos y fisiológicos de la flora y fauna (Rivas-Martínez y Loidi, 1999; Valladares et al., 2005; Rivas-Martínez et al., 2011). Este planteamiento tropieza con el problema de la ausencia generalizada de información cuando se pretende lograr una resolución espacial detallada en áreas extensas, por lo que suele recurrirse a aproximaciones indirectas que utilicen datos más accesibles. El análisis bioclimático es una de estas aproximaciones, pues emplea datos de más fácil acceso y de mayor cubrimiento espacial (los de los observatorios meteorológicos).

Entre las clasificaciones bioclimáticas propuestas la denominada «Global Bioclimatics», también llamada «Worldwide Bioclimatic Classification System», WBCS, es una de las más reconocidas (Rivas-Martínez 1995, 1997; Rivas-Martínez y Loidi 1999; Rivas-Martínez et al., 2011). La WBCS utiliza las

plantas y comunidades vegetales como bioindicadores para definir y determinar las unidades bioclimáticas que se reconocen en el sistema. Por eso, aunque esta clasificación utilice exclusivamente datos geográficos (coordenadas geográficas y alturas) y datos climáticos (medias mensuales de temperaturas máximas y mínimas, y precipitaciones mensuales), sus resultados tienen significado biogeográfico. El método que propone la WBCS clasifica bioclimáticamente cada observatorio y permite, mediante interpolaciones, elaborar mapas bioclimáticos de cualquiera de las unidades jerárquicas que integran la clasificación (Rivas-Martínez y Loidi, 1999; Rivas-Martínez, et al., 2002 a y b; López-Fernández et al., 2015). Por ello, si se cuenta con información climática de suficiente longitud temporal y elevada resolución espacial, la citada clasificación puede ser una herramienta muy útil para reconocer y valorar en qué medida los cambios habidos en las condiciones climáticas han podido afectar a los sistemas naturales.

Generalmente se acepta que, en las áreas de transición climática, precisamente por su carácter de ecotono, los efectos del cambio del clima se percibirán con mayor nitidez que en otras (Lionello et al., 2006). El entorno del Mar Mediterráneo y la Península Ibérica cumplen este requisito. En su territorio se reconoce una gran diversidad climática con claros gradientes latitudinales y longitudinales que se reflejan en la distribución espacial de las temperaturas (Martín-Vide y Gil-Olcina, 2001; Peña-Angulo et al., 2015, 2016), sus tendencias (González-Hidalgo et al., 2015 a; Guijarro, 2013; Llorente, 2012; del Río et al., 2011, 2012; Bermejo y Ancell, 2009), en los numerosos regímenes pluviales identificados (De Castro et al., 2005; de Luis et al. 2010), y en la diversidad de las tendencias de la precipitaciones mensuales, estacionales y anuales (de Luis et al., 2010; González-Hidalgo et al., 2011). Las investigaciones sobre la diversidad espacial y las tendencias de otros elementos climáticos menos frecuentemente analizados, como la insolación, la humedad y la evapotranspiración (Sánchez-Lorenzo et al., 2009, 2012; Vicente-Serrano et al., 2014 a y b), no hacen más que corroborar lo anterior. Las causas de dicha variabilidad hay que buscarlas en su posición en latitudes medias, ocupando una fachada occidental continental, bañada por dos masas de agua de características contrastadas (Océano Atlántico y Mar Mediterráneo), así como en la configuración de sus principales cadenas montañosas y en sus contrastes altitudinales.

En la Península Ibérica la diversidad climática se refleja también en una gran riqueza bioclimática que se constata en las cartografías publicadas desde 1999, la cual se puede resumir en el hecho de que en el reducido espacio 500.000 km<sup>2</sup> se encuentran 72 Isobioclimas de los 350 incluidos en la WBCS, es decir 1/5 de la diversidad bioclimática mundial (López-Fernández et al., 2015).

Entre otros, Rivas-Martínez et al. (2002, a y b), López-Fernández y López-Fernández (2008), López-Fernández et al. (2008), Piñas (2007) y Piñas et al. (2008a y b), han analizado la distribución espacial de los diferentes niveles de la clasificación bien en el conjunto o en regiones específicas; en otras ocasiones el sistema propuesto por la WBCS se ha empleado para evaluar la distribución de áreas potenciales de especies y formaciones (Gavilán et al., 1998, 2007; del Río y Penas, 2006 a y b), o para realizar estudios diacrónicos, como el presentado por Fernández-González et al. (2005) quienes compararon los promedios climáticos del periodo 1961-1990 con diversos escenarios del último tercio del siglo XXI, todos ellos procedentes del modelo Promes (Gallardo et al. 2001). En su análisis se utilizó una resolución espacial moderada (50x50 km) y sus resultados sugieren unas modificaciones sumamente drásticas a finales del siglo XXI, sobre todo por el incremento generalizado de las condiciones de aridez que afectarían a extensas áreas peninsulares. Más recientemente, Miró et al. (2016) han analizado el cambio de los Índices de Termicidad en la Comunidad Valenciana durante el periodo 1948-2011 empleando solamente datos instrumentales, encontrando un ascenso generalizado en altitud de las condiciones expresadas por dicho índice, lo que podría poner en peligro en el futuro la pervivencia de numerosas especies y comunidades, algunas de ellas protegidas. La clasificación cuenta también con diversos estudios de evaluación bioclimática en el Mediterráneo occidental, como los realizados en Portugal (Mesquita y Sousa, 2009), Sicilia (Bazán et al., 2015), Cerdeña (Canu et al. (2015) y centro de Italia (Blasi et al., 1999), que avalan su utilidad.

El en presente trabajo se analiza la distribución espacial de diferentes indicadores bioclimáticos de la WBCS en el conjunto de la España peninsular en dos periodos de treinta años (1951-1980 y 1981-2010), con el objetivo principal de cuantificar los principales cambios que hayan podido producirse entre treintenas, identificar las direcciones del cambio entre indicadores y detectar su distribución espacial. El estudio emplea dos mallas de elevada resolución espacial de precipitaciones mensuales y de temperaturas promedio de máximas y de mínimas en el periodo elegido 1951-2010.

## 2. BASES DE DATOS Y MÉTODO

### 2.1. Bases de datos

Las fuentes documentales climáticas utilizadas son las mallas de alta resolución (0,1° x 0,1°, aproximadamente 100 km<sup>2</sup>), de temperaturas

promedio mensuales de máximas y mínimas, y de precipitaciones mensuales, procedentes de las bases de datos denominadas MOTEDAS y MOPREDAS (González-Hidalgo et al., 2011, 2015a). Ambas mallas cubren el periodo 1951-2010 y se han elaborado a partir de la información original suministrada por AEMet. Las series de datos originales fueron sometidas a un control de calidad, reconstrucción e interpolación, elaborando las mallas finales con 2600 observatorios de precipitaciones (MOPREDAS) y 1300 de temperaturas (MOTEDAS). Mayor información y detalles del proceso se encuentran en los documentos originales citados.

## 2.2. Análisis Bioclimático

El «World Bioclimatic Classification System» (WBCS) de Rivas-Martínez et al. (2011), analiza los datos de precipitación y temperatura, seleccionando aquellos que más influyen sobre las fases decisivas del desarrollo vegetal (germinación, crecimiento vegetativo, reproducción -floración, fructificación-, dispersión de diásporas). El proceso de clasificación exige conocer los valores de ciertos Parámetros Climáticos, calcular diversos Índices Bioclimáticos, y aplicar después los criterios de clasificación estipulados.

### 2.2.1. Parámetros Climáticos e Índices Bioclimáticos

Los Parámetros Climáticos son, simplemente, datos del clima fácilmente asequibles (temperaturas medias mensuales en °C y precipitaciones mensuales en mm), y los Índices Bioclimáticos son expresiones numéricas de relaciones entre Parámetros (López y López, 2008):

#### ✓ Parámetros de Temperatura

- T, Temperatura media anual (°C)
- $T_i$ , Temperatura media mensual, con i: 1=Enero,... y 12=Diciembre
- $T_{\max}$ , Temperatura media del mes más cálido del año
- $T_{\min}$ , Temperatura media del mes más frío del año
- $T_p$ , Temperatura anual positiva,  $\sum T_{i1-12} > 0^\circ\text{C}$ , expresada como la suma en décimas de grado de la temperatura media mensual de meses con  $T > 0^\circ\text{C}$
- M, Temperatura media de las máximas del mes más frío
- m, Temperatura media de las mínimas del mes más frío

✓ **Parámetros de Precipitation**

- $P_i$ , precipitación media mensual con  $i$  los meses del año
- $P_p$ , precipitación anual positiva, o suma de la precipitación mensual de los meses con  $T_i > 0^\circ\text{C}$
- $P_s$ , precipitación de verano (Jn-Jl-Ag)
- $P_w$ , precipitación de invierno (D-E-F)

✓ **Índices Bioclimáticos**

- $I_c$ , Índice de Continentalidad o amplitud térmica anual ( $I_c = T_{\max} - T_{\min}$ , unidades  $^\circ\text{C}$ )
- $I_o$ , Índice Ombrotérmico Anual ( $P_p/T_p$ ) $\times 10$
- $I_{os_1}$ , Índice Ombrotérmico del mes más cálido de verano
- $I_{os_2}$ , Índice Ombrotérmico de los dos meses más cálidos de verano
- $I_{os_3}$ , Índice Ombrotérmico de verano
- $I_{os_4}$ , Índice Ombrotérmico de cuatro meses, resultante de añadir el mes previo de verano al verano
- $I_t$ , Índice de Termicidad ( $T+M+m$ ) $\times 10$ , equivale aproximadamente a  $(T+2T_{\min})\times 10$
- $I_{tc}$  ( $=Cti$ ): Índice de Termicidad Compensado

*2.2.2. Estructura de la Clasificación*

La Clasificación presenta una estructura jerárquica de tres niveles, los cuales se definen y determinan en función de los Parámetros Climáticos y de los Índices Bioclimáticos, que representan diferentes condiciones bioclimáticas a las que responde la vegetación. En el Anejo se ofrecen las tablas con los umbrales de cada nivel de clasificación, y en los documentos originales de la Clasificación WBCS se encuentra la justificación de cada uno de ellos.

1º nivel: Macrobioclimas. Son las unidades tipológicas más amplias de la WBCS, y se corresponde con la distribución de las grandes formaciones vegetales climatófilas: boscosas (plano-perennifolias, plano-caducifolias y aciculifolias), arbustivas y pratenses. En el mundo se reconocen 5 Macrobioclimas, de los que en la Península Ibérica están presentes dos: el Mediterráneo y el Templado. Su diferencia principal radica en la Aridez estival, valorada con los Índices Ombrotérmicos de verano ( $I_{os_2}$ ,  $I_{os_3}$  y  $I_{os_4}$ ) (Rivas-Martínez et al. 2011, López et al., 2015, entre otros). El Macrobioclima Mediterráneo se caracteriza por tener veranos con aridez en los que, al menos en dos meses consecutivos del periodo más cálido del año, la precipitación (mm) es menor o igual que el doble de las temperaturas ( $^\circ\text{C}$ ).

2º nivel: Bioclimas/Variantes. Son unidades tipológicas subordinadas a los Macrobioclimas. En este segundo nivel incluye los llamados Bioclimas y las Variantes.

- A) Bioclimas. Se definen en función de  $I_c$  y de  $I_o$ , y corresponden a conjuntos de series climatófilas de vegetación. El  $I_c$  (Índice de Continentalidad) cuantifica los contrastes térmicos a lo largo del año, mientras que el  $I_o$  (Índice Ombrotérmico anual) es una medida del confort hídrico de las plantas. En el conjunto del planeta se han catalogado 8 Bioclimas Mediterráneos y 4 Bioclimas Templados.
- B) Variantes. Representan pequeñas variaciones en los ritmos ómbricos y/o térmicos de los Bioclimas, dentro de la amplitud de los intervalos de índices y parámetros que definen cada Bioclima. Su existencia se detecta por ciertos rasgos peculiares de la vegetación, que no se explicarían sin ellas. En España se han reconocido tres variantes, la Esteparia, la Submediterránea y la Normal.
  - La Variante Esteparia, que afecta tanto a los Bioclimas Templados como a los Mediterráneos, identifica aquellas áreas sometidas a dos frenazos en la actividad vital, tanto durante el verano como durante el invierno. El verano estepario se detecta bioclimáticamente por la existencia de, al menos, un mes en que la precipitación en mm es inferior al triple de la temperatura según  $P_{si} < 3T_{si}$  (siendo «si» cualquier mes de verano). A su vez, el invierno estepario se reconoce porque la precipitación positiva del trimestre estival es superior a la precipitación positiva del trimestre invernical:  $Pp_s > Pp_w$ . Además, para que la vegetación sea sensible a esas dos condiciones desfavorables de verano y de invierno, el área esteparia debe reunir ciertos caracteres coadyuvantes de Continentalidad alta ( $I_c > 17$ ), y un Índice Ombrotérmico bajo ( $6,0 \geq I_o > 0,2$ ).
  - La Variante Submediterránea identifica aquellas áreas del Macrobioclima Templado en las que, al menos durante un mes del estío, la precipitación en mm es inferior a 2,8 veces la temperatura media del mismo mes ( $P_{si} < 2,8T_{si}$ ).
  - Por último, la Variante Normal, que afecta a todos los Bioclimas, identifica la porción de un Bioclima que no presenta ninguna de las peculiaridades térmicas u ómbricas propias del resto de las Variantes (López-Fernández y López-Fernández, 2017).

Cada Bioclima/Variante incluye varios Pisos Bioclimáticos

3º nivel: Pisos Bioclimáticos. Se corresponden con series climatófilas de vegetación. Cada Piso Bioclimático representa la combinación conjunta de un nivel de confort térmico y otro de confort hídrico, es decir, la combinación de un Termotipo y de un Ombrotipo.

Los Termotipos son intervalos de «confort térmico», delimitados por umbrales de temperatura valorados según el Índice de Termicidad Compensada ( $I_{tc}$  —o  $C_{ti}$ —) o, en algunos casos, según la Temperatura Positiva Anual ( $T_p$ ). En latitudes extratropicales, cuando el Índice de Continentalidad ( $I_c$ ) es  $\geq 21$ , o cuándo el Índice de Termicidad Compensada ( $I_{tc}$ ) es  $< 120$ , los Termotipos se identifican empleando los valores de la Temperatura Positiva Anual ( $T_p$ ). Dichos umbrales, tanto de  $I_{tc}$ , como de  $T_p$ , difieren ligeramente de un Macrobioclima a otro, por lo que el nombre de los Termotipos incluye dos raíces: con la primera se indica el nivel térmico, y con la segunda el Macrobioclima de referencia.

Los Ombrotipos son intervalos de «confort hídrico» para las plantas, y se expresan mediante el Índice Ombrotérmico anual ( $I_o$ ), que relaciona la Precipitación Positiva Anual ( $P_p$ ) y la Temperatura Positiva Anual ( $T_p$ ). Es decir, se trata del cociente entre la suma de precipitaciones mensuales, expresada en mm, y la suma de las temperaturas medias mensuales, expresadas en décimas de grado, sólo de aquellos meses cuya temperatura media mensual sea superior a 0°C.

### 2.3. Caracterización bioclimática de la España Peninsular

En cada una de las celdas correspondientes a las mallas de temperaturas y precipitaciones de las bases de datos MOTEDAS y MOPREDAS, se identificaron los Parámetros climáticos, se calcularon los Índices Bioclimáticos, y se comprobaron, además, las tres circunstancias específicas siguientes en cada periodo:

- si algún mes del verano cumplía la condición  $P_{si} < 3T_{si}$
- si algún mes del verano cumplía la condición  $P_{si} < 2,8T_{si}$
- si se cumplía la condición  $P_p > P_{p_w}$

A continuación, en cada celda y periodo, se identificaron el Macrobioclima, el Bioclima/Variante, el Termotipo, el Ombrotipo y el grado de Continentalidad, evaluando el porcentaje de territorio afectado por cambios y la dirección de los mismos entre ambos periodos, así como su localización espacial.



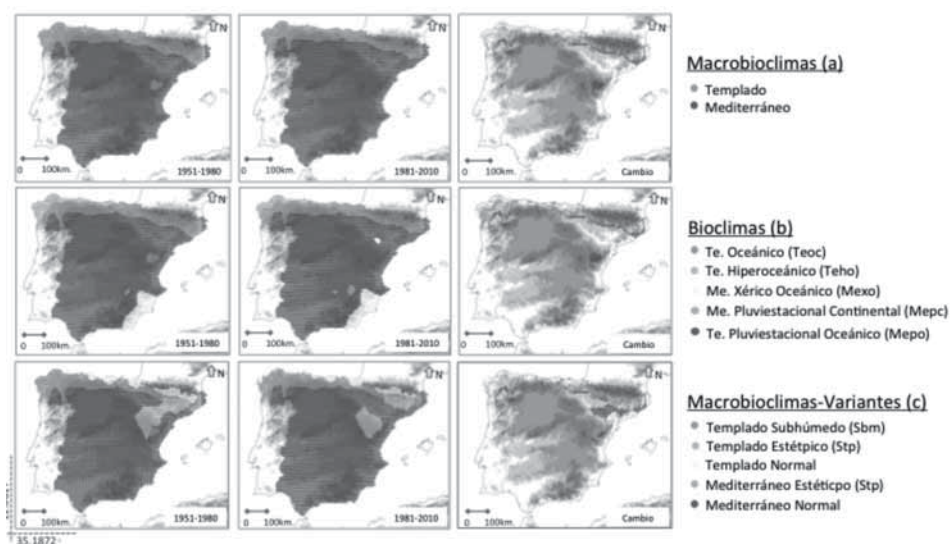
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Las variaciones espaciales de los Macrobioclimas

El área de distribución espacial del Macrobioclima Mediterráneo ocupa el Centro, Este y Sur peninsulares, mientras que la del Templado forma una banda continua a lo largo de la costa y montañas del norte, con alguna presencia en las zonas montañosas del interior en el Sistema Ibérico y en los Montes Galaico-Leoneses. En términos generales esta distribución señala la conocida división entre la España húmeda y la seca. La distribución espacial en ambos periodos del Macrobioclima Mediterráneo tiene una relación respecto al Macrobioclima Templado de aproximadamente 4:1 (figura 1a y tabla 1).

FIGURA 1.

#### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INDICADORES BIOCLIMATICOS MACROBIOCLIMAS, BIOCLIMAS Y VARIANTES



Distribución espacial de Macrobioclimas (a), Bioclimas (b) y Variantes (c) en los periodos 1951-1980 y 1981-2010, y sus cambios observados

Los cambios observados en Macrobioclimas entre los dos periodos afectan a una pequeña extensión, evaluada en el 2,7 % del territorio (figura 1a). El escaso transvase entre ambos Macrobioclimas es desigual pues, mientras el Templado

cede al Mediterráneo 2,6 % del territorio, el Mediterráneo sólo cede el 0,1 % al Templado, con el resultado global de haber aumentado la superficie neta del Mediterráneo en un 2,5 % (tabla 1), con igual disminución de la superficie neta del Templado. Los cambios detectados de Templado a Mediterráneo ocurren en las zonas de contacto entre ambos Macrobioclimas tanto en el interior de Galicia, como en la vertiente sur de las montañas pirenaico-cantábricas, desapareciendo el Templado en el Sistema Ibérico, mientras los pequeños cambios de Mediterráneo a Templado tienen lugar en torno a las montañas orensano-leonesas.

TABLA 1

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LOS MACROBIOCLIMAS EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS.

Macrobioclimas	1951-1980	1981-2010	Cambio
Mediterráneo	81,5	84,0	2,5
Templado	18,5	16,0	-2,5

### 3.2. Las variaciones espaciales de los Bioclimas

En la España peninsular, los Bioclimas más extendidos son Mediterráneo Pluviestacional Oceánico y Templado Oceánico, con ocupaciones de alrededor de 78 % y 14 % del territorio, respectivamente. La extensión de los Bioclimas Mediterráneo Pluviestacional Continental y Mediterráneo Xérico Oceánico es mucho menor, y limitada al cuadrante sureste peninsular y sectores interiores del Valle del Ebro. Por último, el Bioclima Templado Hiperocéánico ocupa pequeñas áreas litorales del oeste y norte peninsulares (figura 1b y tabla 2).

Los cambios espaciales de Bioclimas entre los dos periodos afectan al 4,9 % del territorio. Estos cambios en términos generales han supuesto un aumento generalizado de los tres Bioclimas Mediterráneos, especialmente del Mediterráneo Pluviestacional Oceánico, y un descenso de las áreas ocupadas por los Bioclimas Templados Hiperocéánico y Oceánico. Los cambios se localizan, de nuevo, al igual que ocurría con los Macrobioclimas, en las zonas de contacto entre Bioclimas (figura 1b; tabla 2).

TABLA 2

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LOS BIOCLIMAS EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS

Bioclimas	1951-1980	1981-2010	Cambio
Mediterráneo Pluviestacional Océánico (Mepo)	77,7	79,4	1,7
Mediterráneo Pluviestacional Continental (Mepc)	0,1	0,5	0,3
Mediterráneo Xérico Océánico (Mexo)	3,7	4,1	0,4
Templado Hiperocéánico (Teho)	3,5	2,0	-1,5
Templado Océánico (Teoc)	15,0	14,0	-1,0

### 3.3. Las variaciones espaciales de las Variantes

En términos generales, los cambios entre ambos periodos suponen, redondeando, un aumento de la Variante Normal, en un 2,6 %, y un descenso de las Variantes Esteparia en un 0,9 %, y Submediterránea en un 1,7 %. (figura 1c; tabla 3).

TABLA 3

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LAS VARIANTES EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS

Macrobio-Variante	1951-1980	1981-2010	Cambio
Mediterráneo Normal	75,7	79,3	3,6
Mediterráneo Estépico	5,8	4,7	-1,1
Templado Normal	4,1	3,1	-1,0
Templado Estépico	0,9	1,1	0,2
Templado Subhúmedo	13,5	11,8	-1,7

El total de cambios observados entre las combinaciones Bioclimas/Variantes Bioclimáticas (Mediterráneo Normal y Mediterráneo Estepario, y Templado Normal, Templado Estepario y Templado Submediterráneo) es de 10. Tales cambios en conjunto afectan a superficies que suponen un escaso 7,2 % del total del territorio. Las modificaciones más intensas se han detectado entre el Mediterráneo Estepario y el Mediterráneo Normal (2,3 %), y entre el Templado Submediterráneo y el Mediterráneo Normal (1,7 %).

El análisis de la distribución espacial de los cambios en las Variantes Bioclimáticas sugiere que la Estepicidad desaparece principalmente en el fondo del Valle del

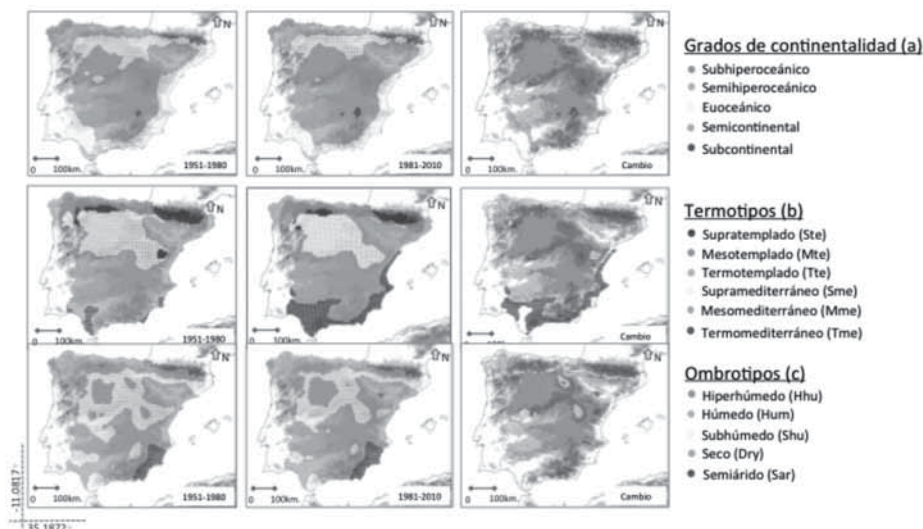
Ebro, en favor de la Variante Mediterráneo Normal, y que la Submediterraneidad se modifica principalmente en las zonas de contactos entre Mediterráneo/Templado y entre Templado Normal/Templado Submediterráneo (figura 1c).

### 3.4. Las variaciones espaciales de la Continentalidad

De los nueve grados de Continentalidad reconocidos en el Planeta, en la España Peninsular se han identificado cinco. Los grados extremos, Subhiperoceánico y Subcontinental, ocupan exiguas superficies y se localizan respectivamente en las costas norte, oeste y en la zona montañosa de la provincia de Albacete. Mayores representatividades tienen los tres grados intermedios, que se distribuyen en orlas concéntricas de menor a mayor Continentalidad, desde las costas hacia el interior de la Península. De ellos, el más extendido es el Semicontinental (Ic: 17-21) que ocupa más del 50 % del territorio, en ambos periodos considerados, seguido del Euroceánico (Ic: 14-17), con alrededor del 30 % (figura 2 a; tabla 4).

FIGURA 2

#### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INDICADORES BIOCLIMATICOS CONTINENTALIDAD, TERMOTIPOS Y OMBROTIPOS



Distribución espacial de Grados de Continentalidad, (a), Termotipos (b) y Ombrotipos (c) en los periodos 1951-1980 y 1981-2010, y sus cambios observados

TABLA 4

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LA CONTINENTALIDAD EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS

Continentalidad	1951-1980	1981-2010	Cambio
Subhiperoceánico	3,5	2,0	-1,5
Semihiperoceánico	9,4	9,1	-0,3
Euoceánico	32,9	26,0	-6,9
Semicontinental	54,1	62,4	8,3
Subcontinental	0,1	0,6	0,5

En conjunto, se ha observado un transvase continuo desde grados de menor a grados de mayor Continentalidad, localizándose los cambios en las zonas de contacto entre las áreas de clases contiguas en la clasificación, de manera que el 12,3% del área de estudio ha cambiado su Continentalidad. En cuanto a las direcciones observadas, los cambios más intensos se han producido entre el Euoceánico y el Semicontinental, afectando al 8,7% del territorio (figura 2a).

### 3.5. Las variaciones espaciales de los Termotipos

En la España Peninsular predominan los Termotipos Mesomediterráneo y Supramediterráneo, que ocupan, aproximadamente el 50% y el 25% del territorio, seguidos del Mesotemplado, con el 10% (figura 2b; tabla 5).

A grandes líneas, el Termomediterráneo ocupa posiciones costeras en el Sur y Este Peninsular; el Mesomediterráneo gran parte de Andalucía, Castilla la Mancha y la depresión del Ebro; y el Supramediterráneo la Submeseta Norte y el Sistema Ibérico. El Termotemplado se sitúa en las costas gallegas y cántabras, con alguna representación en Cataluña; el Mesotemplado, por casi todo el resto del Templado; y el Supratemplado, en las cumbres cántabras y pirenaicas (figura 2b).

Los cambios de la distribución de los Termotipos entre periodos afectan al 21,2% del territorio, e indican que solamente aumentan su distribución los Termotipos cálidos (Termomediterráneo y Termotemplado), con la consiguiente disminución de todos los Termotipos frescos y fríos, (Meso- y Supramediterráneo, y Meso- y Supratemplado). Los cambios fueron siempre hacia el siguiente nivel térmico más cálido. Es decir, entre periodos, se ha detectado un claro aumento de Termicidad, localizándose las áreas de dichos

cambios en los contactos entre Termotipos. El cambio más intenso detectado ha sido el paso de Mesomediterráneo a Termomediterráneo (10,5 % del territorio), ocurrido en gran parte de Andalucía y en el litoral sur y sureste peninsulares. En el interior, el Supramediterráneo reduce su extensión por el avance del Mesomediterráneo (4,8 % del territorio). Las áreas más afectadas se localizan en la vertiente sur de los Sistemas Central e Ibérico, así como en los somontanos de las montañas cantábricas y Pirineos.

TABLA 5

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LOS TERMOTIPOS EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS

Termotipos	1951-1980	1981-2010	Cambio
Termomediterráneo (Tme)	2,5	12,9	10,4
Mesomediterráneo (Mme)	53,0	48,8	-4,2
Supramediterráneo (Sme)	26,1	22,3	-3,8
Termotemplado (Tte)	2,5	3,9	1,4
Mesotemplado (Mte)	10,2	8,7	-1,5
Supratemplado (Ste)	5,8	3,4	-2,4

### 3.6. Las variaciones espaciales de los Ombrotipos

En la España Peninsular, la distribución de las condiciones de confort hídrico en ambas treintenas está dominada por el Ombrotipo Seco (Dry) en más del 50 % del territorio, seguido del Subhúmedo (Shu) y del Húmedo (Hum), que, con el Seco, suman alrededor del 95 % del territorio (tabla 6). Los otros dos Ombrotipos identificados son los extremos Semiárido (Sar) e Hiperhúmedo (Hhu), que tienen una representación muy exigua en ambas treintenas (~5 %). En cuanto a su distribución geográfica, los Ombrotipos húmedos predominan en el NW, mientras que los áridos en el SE (figura 2 c).

El cambio entre las dos treintenas analizadas afectó al 16,2 % del territorio, e indica un incremento claro hacia mayor Xericidad, con un fuerte aumento del Ombrotipo Seco (10,6 %), y una disminución del Subhúmedo (-7,1) y del Húmedo (-3,1 %), siendo insignificantes los cambios de Semiárido e Hiperhúmedo. (figura 2c y tabla 6).

TABLA 6

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN ESPACIAL DE LOS OMBROTIPOS EN LOS PERIODOS 1951-1980 Y 1981-2010, Y CAMBIO NETO ENTRE PERIODOS

Ombrotipos	1951-1980	1981-2010	Cambio
Semiárido (Sar)	3,7	4,1	0,4
Seco (Dry)	42,7	53,3	10,6
Subhúmedo (Shu)	32,2	25,1	-7,1
Húmedo (Hum)	20,2	17,0	-3,2
Hiperhúmedo (Hhu)	1,2	0,4	-0,7

Los cambios ocurren en cascada, siempre desde un Ombrotipo al siguiente, y, en su práctica totalidad, desde los Ombrotipos más húmedos a los más secos. Así, el Hiperhúmedo pierde el 0,7%, el mismo valor que gana el Húmedo; el Húmedo pierde el 3,9 %, que pasan al Subhúmedo; el Subhúmedo pierde el 11 % ganado por el Seco (Dry); y el Seco (Dry) pierde el 0,4% ganado casi íntegramente por el Semiárido.

El análisis de la distribución espacial de los cambios en los Ombrotipos muestra que los cambios se han producido en las zonas de contacto entre Ombrotipos, y, como es natural, aparecen distribuidos por toda la superficie peninsular (figura 2c).

#### 4. DISCUSIÓN

##### 4.1. Aspectos generales

Las variaciones de las condiciones bioclimáticas en la España peninsular, analizadas en el presente estudio, se han producido en un contexto temporal caracterizado mayoritariamente por la tendencia negativa, si bien no significativa, de los totales anuales de precipitación, acompañada de una modificación del régimen estacional. Este cambio del régimen estacional de las precipitaciones ha supuesto pasar de máximos primaverales, durante el periodo 1951-1980, a máximos de otoño, en la treintena 1981-2010, y ha afectado a extensas áreas del sector centro-oeste peninsular. Dicho cambio ha sido originado por el descenso de las precipitaciones de marzo, parcialmente compensadas por los incrementos de octubre (de Luís et al., 2010; González-Hidalgo et al., 2011). Por lo que respecta a las temperaturas, durante el periodo 1951-2010 se ha detectado un aumento significativo de los promedios

anuales, tanto de máximas como mínimas, si bien han sido las temperaturas de primavera y verano las que han contribuido de modo significativo al aumento de los valores promedio anuales (González-Hidalgo et al., 2015 a y b). Además, el aumento térmico no ha sido uniforme en el espacio, y existen diferencias notables entre meses y medidas termométricas (máximas y mínimas), siendo las áreas más afectadas, la franja costera mediterránea y la mitad sur.

En este contexto climático general, el contraste de los Indicadores Bioclimáticos entre las dos treintenas analizadas permite apreciar, como característica global, que las variaciones más extensas en el espacio han afectado a aquellos Indicadores Bioclimáticos referidos a los niveles de mayor detalle de la clasificación, es decir, a los que reflejan las condiciones de Continentalidad, y a los Termotipos y Ombrotipos. Por su parte, las condiciones que representan los niveles superiores de la jerarquía (Macrobioclimas, Bioclimas/Variantes) se han mantenido más estables. En general, todos los cambios se han producido entre clases adyacentes del Indicador analizado, y, espacialmente, en las zonas de contacto.

#### *4.1.1. Continentalidad*

La Continentalidad ha aumentado en 1/8 del territorio, sin haber observado cambios en su descenso. Este cambio está ligado al aumento térmico de los meses de verano, pues, en caso de haberse debido a descensos invernales habría hecho descender la Termicidad anual (no detectado), y, en el supuesto de una combinación de descensos invernales y aumentos veraniegos, habría hecho permanecer la Termicidad (observado parcialmente). De modo que el aumento de Continentalidad, conjuntamente con el de la Termicidad, en la Península Ibérica, durante el periodo 1981-2010 indican claramente que el aumento de la Continentalidad se ha originado por el aumento de las temperaturas de verano, en concordancia con la significación de las tendencias observadas en esta estación (González-Hidalgo et al., 2015 b). En general, estos cambios se han producido en áreas concéntricas, ganando terreno el tipo Semicontinental, del interior, a expensas del Euroceánico, con el resultado de que el Semicontinental se acerca a la costa en toda la vertiente este y sur peninsular, y progresa en los somontanos meridionales de las montañas del Cantábrico y Pirineos.

#### *4.1.2. Xericidad anual y Xericidad estival*

Otro importante cambio observado son las modificaciones en las condiciones de Xericidad, que expresa la disponibilidad de agua con relación



a la temperatura. La Xericidad anual ha variado entre treintenas en 1/6 del territorio pasando de un Ombrotipo al siguiente más seco, cambio que de nuevo debemos relacionar globalmente con el aumento de las temperaturas, más que con variaciones de la precipitación.

En cuanto a de la Xericidad estival, su aumento solamente aparece reflejado en el 2,5 % del territorio, de modo que solamente 1/40 del mismo ha pasado de Macrobioclima Templado a Mediterráneo, lo que indica que ese cambio de Macrobioclimas ha sido provocado por el aumento de la Xericidad estival. La subida de temperaturas de verano, detectada en la España peninsular (González-Hidalgo et al., 2015 a y b), junto con la ausencia de tendencia negativa generalizada en las precipitaciones (González-Hidalgo et al., 2011), parecen ser la explicación de la disminución moderada de los Índices Ombrotérmicos de verano, con la consiguiente «mediterrización».

#### 4.1.3. *Modificaciones en los Bioclimas*

Los cambios en Bioclimas afectan a 1/20 del territorio (4,9 % del total) y resumen los cambios de aumento de Continentalidad, de Xericidad anual y de Xericidad estival (Mediterraneidad). Estos cambios incluyen diversas direcciones:

- ✓ Aumento de Continentalidad (un 0,3 % de Mepo pasa a Mepc, y un 1,5 % de Teho pasa a Teoc).
- ✓ Aumento de Xericidad Anual (un 0,4 % de Mepo pasa a Mexo, y un 0,04 % de Teoc pasa a Texe).
- ✓ Aumento de Xericidad estival (Mediterraneidad), por la que un 2,6 % de Teoc pasa a Mepo.

#### 4.1.4. *Modificaciones en las Variantes*

El sorprendente descenso de la Estepicidad, por el paso de Mediterráneo Estepario a Mediterráneo Normal (2,3 % del territorio), queda determinado por el comportamiento de las lluvias de verano, que en la Variante Esteparia han de ser mayores que las del invierno. Este hecho se constata en las tendencias negativas de las precipitaciones, con mayor incidencia en las estivales si bien no ha sido significativo. También la variante Submediterránea, de los Bioclimas Templados, ha acusado el mismo descenso, pero aquí debido a causas térmicas,

al haber disminuido el valor del Índice Ombrotérmico de verano (Ios) por el aumento de sus temperaturas, y el consiguiente aumento de la Xericidad estival. En consecuencia, la reducción de las áreas con Variantes Esteparia y Submediterránea está relacionada con cambios en la estación estival, en el primer caso por el mayor descenso de sus precipitaciones respecto a las de invierno, y en el segundo caso porque las temperaturas que más han aumentado han sido las de verano. En todo caso, estos cambios de las Variantes son muy escasos, y se localizan preferentemente en las vertientes sur de los Pirineos, Montes Cantábricos y sectores del Sistema Ibérico

#### 4.2. Distribución espacial y magnitud de las variaciones bioclimáticas observadas

Los resultados del análisis realizado muestran que el 45 % del territorio peninsular español ha sufrido algún cambio, en uno o en varios de los Indicadores Bioclimáticos empleados. Dado que los cambios posibles incluyen seis opciones por celda, y considerando el total de celdas de la malla, 5234, la intensidad del cambio registrado entre los dos periodos es del 10,8 % del teóricamente posible. De modo que el cambio observado, si bien es extenso, ya que afecta casi a la mitad del territorio, no es muy intenso, pues es sólo un 10,8% del posible. Las superficies afectadas por el cambio de los diversos Indicadores de la Clasificación Bioclimática WBCS se ofrecen, de modo resumido, en la tabla 7 y en la figura 3, que sugieren la siguiente clasificación de los cambios bioclimáticos ocurridos en el área y periodos de estudio:

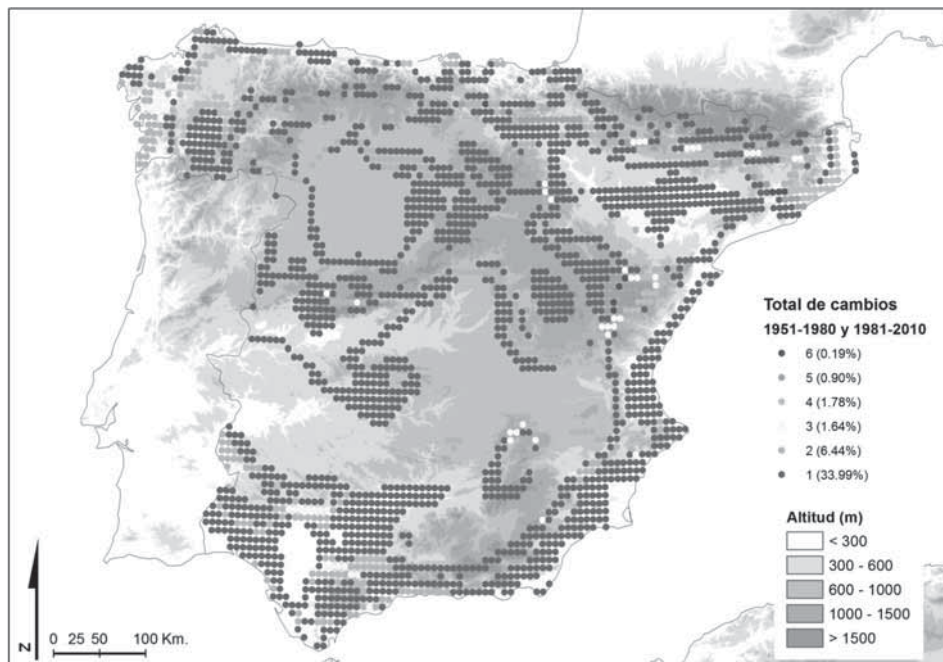
TABLA 7

RESUMEN DE CAMBIOS EN LOS INDICADORES BIOCLIMATICOS, EXPRESADOS EN PORCENTAJES NETOS DE SUPERFICIE AFECTADA, EN PÍXELES

	Permanece	Cambio neto
Macrobioclimas	97,3	2,7
Bioclimas	95,1	4,9
Variantes	92,8	7,2
Continentalidad	87,7	12,3
Termotipos	78,8	21,2
Ombrotipos	83,8	16,2

FIGURA 3

ÁREAS AFECTADAS POR EL CAMBIO DE 1, 2, 3, 4, 5 Ó 6 INDICADORES BIOCLIMÁTICOS.



- ✓ **Áreas de «calma bioclimática»**, en las que ningún Indicador Bioclimático cambia de valor. Se localizan en el centro de la Submeseta Norte, el Este de la Submeseta Sur, y gran parte de Extremadura; ocupan el 55 % del territorio.
- ✓ **Áreas de «moderado cambio bioclimático»** (modificaciones en uno, dos, o tres, de los Indicadores Bioclimáticos), que se localizan en Andalucía y en la costa levantina, en las montañas del centro de la Península, en gran parte de Galicia y de las montañas cantábricas, y en el valle del Ebro. Afectan al 42 % del territorio.
- ✓ **Áreas de «intensa variación bioclimática»** (cambios en cuatro, cinco, o seis de los Indicadores Bioclimáticos), localizadas preferentemente en zonas elevadas y de montaña: sectores aragoneses de las Sierras del Sistema Ibérico en contacto con el interior peninsular; algunas localidades del Prepirineo con prolongación hasta los Montes Vascos; y el entorno del Macizo de Manzaneda. Suponen, en conjunto, sólo el 3 % del territorio.

### 4.3. Recapitulación general

Los resultados de la presente investigación ponen de manifiesto notables diferencias con las distribuciones espaciales ofrecidas en el informe del cambio del clima elaborado por el Ministerio en 2005 entre la treintena 1961-1990 y final de siglo XXI (Fernández-González et al., 2005). Si bien es cierto que los periodos analizados no son exactamente los mismos, este argumento no es suficiente para explicar las notables diferencias que existen entre las cartografías de ambos estudios, tanto en la distribución espacial de Termotipos y Ombrotipos, como en la extensión de las áreas afectadas. Entendemos que la razón de la discrepancia entre ambos resultados está en la distinta densidad espacial de la información manejada y la diferente naturaleza de los datos climáticos empleados (observados y reanálisis/predicciones), lo que sugiere que cualquier evaluación de los efectos del eventual cambio del clima debería realizarse siempre con la mayor densidad de información posible y, en principio, con datos observados.

Las variaciones de las condiciones bioclimáticas observadas en las décadas más recientes sugieren cautela para deducir cualquier extrapolación al futuro con la intensidad y magnitud propuestos por la proyección realizada para la década de finales del siglo XXI, y cabe preguntarse si la ausencia de coincidencia entre las previsiones realizadas por los modelos climáticos en las décadas recientes y los datos observados (Cohen et al., 2013; Fyfe et al., 2013; Lüdecke et al., 2011; Stockwell, 2009), extrapoladas a final del mismo, pueden seguir siendo aceptadas como herramientas válidas para evaluar los efectos de las variaciones de las condiciones bioclimáticas en la Península Ibérica.

## 5. CONCLUSIONES

La disponibilidad de bases de datos climáticos de elevada resolución espacial ha permitido analizar los cambios de seis Indicadores Bioclimáticos en la España Peninsular, con un detalle no logrado hasta el presente, y su evolución temporal ha permitido realizar una valoración diacrónica de dichos cambios. Los resultados globales indican que sólo en torno a la mitad del territorio peninsular ha experimentado algún cambio en sus Indicadores Bioclimáticos.

Los cambios bioclimáticos detectados no afectan por igual a todos los Indicadores Bioclimáticos. Los cambios en Termotipos y en Ombrotipos son los más extensos, y afectan a 1/5 y 1/6 del territorio respectivamente, mientras que los de Macrobioclimas y Bioclimas/Variantes sólo afectan al 1/20 y al 1/38

del territorio, respectivamente. Los cambios en Continentalidad, Termotipos y Ombrotipos ocurren siempre como paso de un nivel de la clasificación al siguiente. En Macrobioclimas y Bioclimas/Variantes, como substitución de uno por otro.

En general se detecta un pequeño incremento (2,5% del territorio) de las condiciones mediterráneas, por el aumento de la Continentalidad y de la Xericidad estival. Los cambios observados parecen estar motivados fundamentalmente por el comportamiento del verano, y parecen haberse originado, o bien por modificaciones de las precipitaciones, o de las temperaturas, o por combinación de ambas.

Las áreas afectadas por los cambios de los Indicadores Bioclimáticos se localizan en las transiciones de cada uno de ellos, y las de mayor intensidad se relacionan con áreas de montaña media o de alta montaña. En la costa cantábrica, las condiciones oceánicas se han suavizado, mientras que en las costas mediterráneas, se han acentuado. En el interior, en las depresiones del Duero y Ebro, las condiciones más «extremas» de los sectores centrales se han expandido en el espacio. Así, los cambios más intensos parecen haberse producido preferentemente en la mitad norte peninsular.

Se sugiere que las áreas en las que se han detectado variaciones de las condiciones bioclimáticas deberían de ser las áreas elegidas para realizar el mayor esfuerzo de seguimiento y analizar, mediante trabajos de campo, las eventuales respuestas ecológicas de los ecosistemas a las variaciones del clima actual.

## AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España, Proyecto DESEMON, CGL2014-52135-C3-3-R. Gobierno Regional de Aragón DGA-FSE (Grupo de Investigación Consolidado «Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales»). Dhais Peña-Angulo es becaria de doctorado del Programa FPI del Ministerio de Ciencia e Innovación. Datos climáticos originales cedidos por AEMet.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bazan, G., Marino, P., Guarino, R., et al. (2015): "Bioclimatology and vegetation series in Sicily: a geostatistical approach". *Annales Botanici Fennici*, 52, pp. 1-18.
- Bermejo, M. y Ancell, R. (2009): "Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using weather types". *Revista de Climatología*, 9, pp. 45-61.

- Blasi, C., Carranza, M.L., Filesi, L., et al. (1999): "Relation between climate and vegetation along a Mediterranean-Temperate boundary in central Italy". *Global Ecology and Biogeography*, 8, pp. 17-27
- Canu, S., Rosati, L., Fiori, M., et al. (2015): "Bioclimate map of Sardinia (Italy)". *Journal of Maps*, 11, pp. 711-718.
- Cohen, J. L., Furtado, J. C., Barlow, M., Alexeev, V. A., Cherry, J. E. (2013): "Asymmetric seasonal temperature trends". *Geophysical Research Letters*, 39, L04705, doi: 10.1029/2011GL050582.
- de Castro, M., Martín-Vide, J., Alonso, S. (2005): "El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI". Ministerio Medio Ambiente (ed.), "Impactos del cambio climático en España", Madrid, 64 pp.
- de Luis, M., Brunetti, M., González-Hidalgo, J.C., et al. (2010): "Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005". *Global Planetary Changes*, 74, pp. 27-33
- del Río, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L., Penas, A. (2012): "Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961-2006)". *Theoretical and Applied Climatology*, 109, pp. 605-626.
- del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C., Penas, A. (2011): "Spatial analyses of mean temperature trends in Spain over the period 1961- 2006". *Global Planetary Change*, 78, pp. 65-75.
- del Río, S. and Penas, A. (2006 a): "Potential distribution of semi-deciduous forests in Castile and Leon (Spain) in relation to climatic variations". *Plant Ecology*, 185, pp. 269-282.
- del Río, S. and Penas, A. (2006 b): "Potential areas of evergreen forests in Castile and Leon (Spain) according to future climate change". *Phytocoenologia*, 36, pp. 45-66.
- Fernández-González, F., Loidi, J., Moreno J.C. (2005): "Impactos sobre la biodiversidad vegetal", en: J.M. Moreno (dir.), "Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático", Madrid, Proyecto ECCE, Informe Final, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica, 183-248 pp.
- Fyfe, J.C., Gillett, N.P., Zwiers, F.W. (2013): "Overestimated global warming over the past 20 years". *Nature Climate Change*, 3, pp. 767-769.
- Gallardo, C., Arribas, A., Prego, J.A., Gaertner M.A. and Castro M. (2001): "Multi-year simulations with a high resolution regional climate model over the Iberian Peninsula. Current climate and 2xCO<sub>2</sub> scenario". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127, pp. 1659-1682.
- Gavilán, R.G., Fernandez-Gonzalez, F., Blasi, C. (1998): "Climatic classification and ordination of the Spanish Sistema Central: relationships with potential vegetation". *Plant Ecology*, 139, pp. 1-11.
- Gavilan, R.G., Sanchez, D., Vilches, B., et al. (2007): "Modeling current distribution of Spanish *Quercus pyrenaica* forests using climatic parameters". *Phytocoenologia*, 37, pp. 561-581.

- González-Hidalgo, J.C., Brunetti, M., de Luis, M. (2011): "A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005)". *International Journal of Climatology*, 31, pp. 715-731.
- González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N. (2015 a): "MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010)". *International Journal of Climatology*, 35, pp. 4444-4463.
- Gonzalez-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, C. (2015 b): "Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus". *International Journal of Climatology*, 36, pp. 2405-2416.
- Guijarro, J.A. (2013): "Tendencias de la Temperatura". En C. Garcia-Legaz y F Valero (eds.), "Fenómenos meteorológicos adversos en España", Madrid, WCRP, AMV ediciones, 313-323 pp.
- Lionello P, Boscoso R, Malanotte-Rizzoli P. (2006): *Mediterranean Climate Variability*. Amsterdam, Elsevier, 438 pp.
- Llorente, M. (2012): "Tendencias españolas de variables agrometeorológicas en los últimos 30 años". Madrid, Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, 99 pp.
- López-Fernández, M.L. y López-Fernández, M.S. (2008): "Ideas Básicas de Global Bioclimatics, del Prof. Rivas-Martínez: Guía para reconocer y clasificar las unidades bioclimáticas". *Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra*, Serie Botánica, 17, pp. 3-188.
- López Fernández, M.L. y López Fernández, M.S. (2017): "Manual y Guía de Bioclimatología mundial". Documentos Aljibe "on line", vol. 4, nº 6. Ciudad Real, Ed. Sociedad Surcos. Depósito Legal: CR 820-1986- ISBN 84-398-6347-0 ISSN: 2445-1304 .
- López-Fernández, M.L., Marco, R., Piñas, S. y López-Fernández, M.S. (2015): "Mapa Isobioclimático de la España Peninsular y Balear". Documentos Aljibe "on line", vol. 2, nº 4. Ciudad Real, Ed. Sociedad Surcos. Depósito Legal: CR 820-1986- ISBN 84-398-6347-0 ISSN: 2445-1304.
- López-Fernández, M.L., Piñas, S., Amezketa, A., Aquerreta, S., López-Fernández, M.S., Almárcegui, I., Urdiain, M., Royo, A. (2003): "Mapa bioclimático de Navarra". *Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra*, Serie Botánica, 15, pp. 53-63.
- López-Fernández, M.L., Piñas, S. y López F, M.S. (2008): "Macrobioclimas, Bioclimas y Variantes Bioclimáticas de la España Peninsular y Balear, y su cartografía". Pamplona, Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra, Serie Botánica, 17, pp. 229-236.
- Lüdecke, H.J., Link, R., Ewert, F.K. (2011): "How natural is the recent centennial warming? An Analysis of 2249 surface temperature records". *International Journal of Modern Physics C*, 22, pp: 1130-1159.



- Martin-Vide, J. y Gil Olcina, J. (2001): "Tiempos y climas de España". Madrid, Alianza Editorial. Col. El libro universitario, 264 pp.
- Mesquita, S. and Sousa, A.J. (2009): "Bioclimatic mapping using geostatistical approaches: application to mainland Portugal". *Internatinal Journal of Climatology*, 29, pp. 2156-2170.
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Caselles, V., Olcina-Cantos, J. (2016): "Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia región, Spain". *Atmospheric Research*, 180, pp. 150-164.
- Peña-Angulo, D., Cortesi, N., Brunetti, M., González-Hidalgo, J.C. (2015): "Spatial variability of maximum and minimum monthly temperature in Spain during 1981-2010, evaluated by Correlation Decay Distance (CDD)". *Theoretical and Applied Climatology*, 122, pp. 35-45.
- Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, C., Gonzalez-Hidalgo, J.C. (2016): "A new climatology of maximum and minimum temperature (1951-2010) in the Spanish mainland". *International Journal of Geographical Information Science*, 30, pp. 2109-2132.
- Piñas, S. (2007): "Bioclimatología de la España Peninsular y Balear, y su Cartografía. 2007". Pamplona, Universidad de Navarra, Tesis Doctoral, 110 pp. y anexos.
- Piñas, S., López-Fernández, M.S. y López-Fernández, M. L. (2008a): "Termotipos de la España Peninsular y Balear, y su cartografía". Pamplona, Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra, Serie Botánica, 17, pp. 237-242.
- Piñas, S., López-Fernández, M.S. y López-Fernández, M.L. (2008b): "Ombrotipos de la España Peninsular y Balear, y su cartografía". *Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra*, Serie Botánica 17, 243-248.
- Piñas S, López ML, López MS. (2009): "Andalucía: cartografía y áreas de sus Bioclimas, Continentalidad, Termotipos y Ombrotipos. En: Actas V Congreso Español de Biogeografía: Biogeografía Scientia Biodiversitatis; Sep. 2008, Málaga, España. Raimundo Real y Ana Luz Márquez, Eds, pp. 109-119.
- Rivas-Martínez, S. (1995): Clasificación bioclimática de la Tierra (Bioclimatic Classification System of the World). *Folia Bot. Matritensis*, 16, p. 1-25.
- Rivas-Martínez, S. (1997): Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, I. *Itinera Geobotanica*, 10, p. 5-148.
- Rivas-Martínez, S. and Loidi, J. (1999): "Bioclimatology of the Iberian Peninsula". *Itinera Geobotanica*, 13, pp. 41-47.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E. (2002a): "Bioclimatic Map of Portugal and Spain: 1, Bioclimates (and Variants)". *Itinera Geobotanica*, 15, pp. 14-15.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E. (2002b): "Bioclimatic Map of Portugal and Spain: 2: – Thermoclimatic Belts". *Itinera Geobotanica*, 15, pp. 16-17.
- Rivas-Martínez, S., Rivas-Sáenz, S., Penas, A. (2011): "Worldwide bioclimatic classification system". *Global Geobotany* 634 pp + 4 Maps.
- Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J., Brunetti, M., Deser, C. (2009): "Dimming/ brightening over the Iberian Peninsula: trends in sunshine duration and cloud cover and their



- relations with atmospheric circulation". *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 114: D00D09, doi: 10.1029/2008JD011394
- Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J., Wild, M. (2012): "Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain". *Climate of the Past*, 8, pp. 1199-1212.
- Stockwell, D.R. (2009): "Recent climate observations: disagreement with projections". *Energy & Environment*, 20, pp. 20: 595-596.
- Valladares, F., Peñuelas, J., Luis Calabuig, E. (2005): "2. Impactos sobre los ecosistemas terrestres". En JM Moreno Rodríguez (dir.), "Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático", Madrid, Proyecto ECCE, Informe Final, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica, pp. 65-112.
- Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., et al. (2014 a); "Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanisms". *Climate Dynamics* 42, pp. 2655-2674.
- Vicente-Serrano, S., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., et al. (2014b): "Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011". *Global Planetary Change*, 12, pp. 26-40.

Fecha de recepción: 13 de mayo de 2016.

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2017.